

一般財団法人WN I 気象文化創造センター

第12回気象文化大賞「市販の放射温度計を活用した気温の逡減率と雲底高度の測定実験の開発と実践」

助成に係る研究・活動成果報告書

宇都宮大学共同教育学部

准教授 瀧本家康

1. 助成テーマ

「市販の放射温度計を活用した気温の逡減率と雲底高度の測定実験の開発と実践」

2. 研究の背景と目的

山を登るとだんだん寒くなることや雲の高さが雲の種類や季節などによって違いがあることなどは、非常に身近な大気現象であるとともに、児童や生徒も日常生活の中で実感していると考えられる。しかし、それらの現象を定性的に捉えることはできても、実際に気温等を測定して定量的に考察する機会は極めて少ないといえる。

このような中で、近年では、コロナ禍の影響を受けた体温測定場面が増えたこともあり、非接触型の体温計である赤外線放射温度計が安価に入手可能となった。この放射温度計を通常使用するように物体に向けて計測するのではなく、空に向けて計測することで、晴天時には大気のある高度の気温を、曇天時には概ね雲底の温度を測定できることがわかっている。これまでに、いくつかこの手法を用いた研究例は報告されているが、児童生徒が個々に測定を行うことを想定されたような実践例はまだ見られない。

本研究の着想に際し、最も参考としたのは加藤・森本(2021)と川村(2009)である。これらの研究では、とくに加藤・森本(2021)において、雲量が8以上の天候下で高度5~6000mまでのおよその雲底高度が推定可能であることが示されている。しかし、実際に中学校や高等学校における実践にまでは至っていないとともに、雲底高度自体を乾燥断熱減率を仮定して算出している。

平成29年の学習指導要領解説理科編では、「身近な気象の観察、実験などを行い、その観測記録や資料を基に、気象要素と天気の変化の関係に着目しながら、天気の変化や日本の天気の特徴を大気中の水の状態変化や大気の動きと関連付けて理解させること」が主なねらいであるとされている。そして、内容の一つとして「雲の発生、雲の量や動きと天気の変化との関係」について学習する。

しかし、学校での観測実習を行いやすい気温や雨と異なり、雲は高度などを定量的に観測することが難しく、これまで十分な測定を含めた教材の開発には至っていない。また、近年では、国内外のWEBサイトを利用することで、ほぼリアルタイムに大気鉛直構造(気温、風、気圧等)を容易に入手できるようになった(例えば、ワイオミング大学HPや気象庁HP)。そのため、雲底高度の推定に際し、乾燥断熱減率を仮定しなくとも、実際の気象の状況を元に解析したり、エマグラムを活用することで雲底高度を直接推定したりすることも可能となった。

以上のことから、放射温度計を用いた雲底高度等の測定事例自体は過去にも報告がなされているが、学校現場で利用できる教材のレベルには達していないことと、雲底高度の推定方法として実際の気象の状況から検証が可能となりつつあることから、中学校や高等学校の気象分野の発展学習として、個々の生徒が測定を実施し、当日の気象の状態も含めて雲底高度や気温の逡減率を測定結果から推定できる実験教材の開発を目指すこととした。

近年では、GIGAスクール構想の進展もあり、児童生徒の1人ひとりがタブレット等の端末を利用できる状況が整いつつある。したがって、WEB上の情報を活用することもこれまで以上に容易になっていることから、測定によって得られた値をWEB上の最新の情報と合わせて検証することで、より充実した測定活動が実施できると考えられる。加藤・森本(2021)が報告している事例では、乾燥断熱減率によって雲底高度を推定しているが、エマグラム等から実際の気象鉛直構造を読み取りながら考察を行うことで、より厳密に定量的な推定を行うことが可能となる。

また、安価になった放射温度計を利用することで、生徒個々が測定を行うことにより、1人ひとりの実感を伴った理解につなげることが可能である。実験はグループで実施することも多いが、必ずしも全員が積極的に実験に参加していない場合も多く、個々の生徒が測定できることは能動的な学習の実現の観点からも重要である。

そこで、本研究では、この放射温度計を活用することで、児童や生徒が簡易に気温の遞減率や雲底高度を測定できる実験教材を開発することを目指す。

本研究の独創性は、これまでの知見と新たな ICT 利用環境の整備を活用することで、個々の生徒が測定できる実験教材の開発を目指す点である。これまでにこのような研究例の報告は見られないため、今後の地学教育や気象教育の進展に寄与できると考えられる。

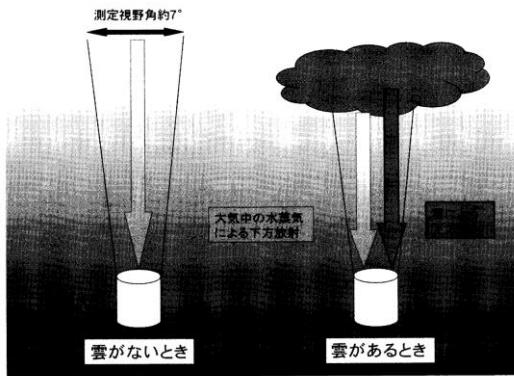


図3 天頂方向の輝度温度測定概念
下向き矢印は赤外線の下方向射を示す。

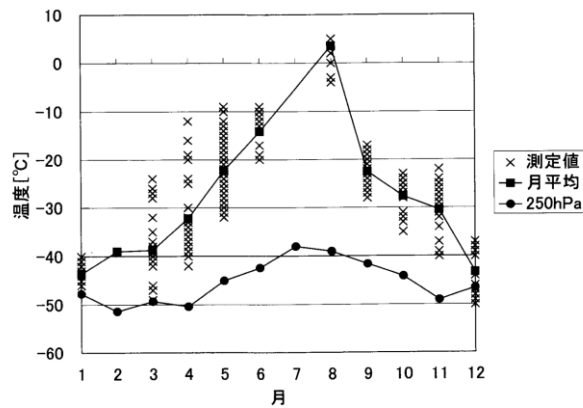


図4 快晴・晴天時の天頂方向の輝度温度および250hPaでの大気温度の年変化
2006年6月～2007年5月の観測。

川村 (2009) より

3. 本研究の原理

本研究では、以下の手順に従って、雲底温度から気温遞減率の推定を行った。当初は雲底高度を推定することを目的とした実験方法の開発を目指し、しかし、教材としての有用性を考えた場合、教科書にも定量的な記載がある気温遞減率の値 (0.65°C/100m) について、「身近な地域でも同じような値を示すだろうか」「気温遞減率は本当に0.65°C/100m だろうか」などのように探究教材としての幅が広いと考え、気温遞減率を推定する実験教材の開発を目指すこととした。

実際の気温遞減率の推定方法を以下に記す。

【方法】

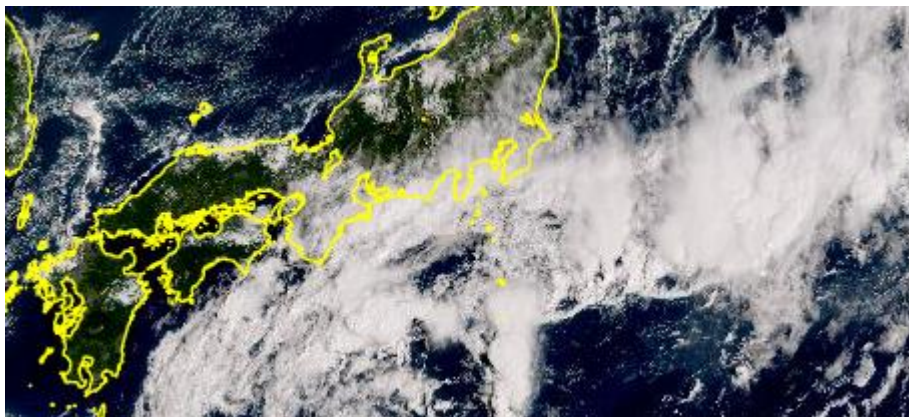
1. 気象庁の高層気象観測時刻 09 時に合わせて、その前後に雲底温度を計測する



2023年9月7日の観測例 (左: 測定温度 4.0°Cを示す, 右: 雲の全体の様子)

2.同時刻のひまわり 8 号衛星画像を取得し、雲の分布のようすを把握する

<https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#5/36.756/132.759/&elem=color&contents=himawari>



3.気温減率に必要な地上気温を近隣アメダスから取得する（実測することも可能であるが、今回は、測定する気温減率の精度を高めるためにもアメダスデータを用いた）

https://www.jma.go.jp/bosai/amedas/#area_type=offices&area_code=090000&amdn=41277&format=table1h&elems=53414

宇都宮(ワツノミヤ)
北緯: 36度32.9分 東経: 139度52.1分 標高: 119m

表示形式

観測要素

[最低気温、最高気温、最大瞬間風速の観測表](#)

日時	気温	降水量 (前1h)	風向	風速	日照時間 (前1h)	湿度	海面気圧	
	℃	mm	16方位	m/s	h	%	hPa	
07日	10:00	27.6	0.0	南西	1.3	0.8	71	1011.1
	09:00	26.4	0.0	北	1.4	0.7	71	1011.1
	08:00	24.7	0.0	北北東	1.6	1.0	80	1010.6
	07:00	22.4	0.0	北西	1.4	0.6	92	1010.4
	06:00	21.6	0.0	北北東	2.5	0.1	100	1009.5
	05:00	21.1	0.0	北北東	1.1	0.0	100	1009.0

4.ワイオミング大学 HP (<https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>) から最寄りの高層気象観測所である「館野」の気象データを取得し、雲底温度に相当する高度を内挿により求める（この日の事例では、4230m と 4046m の間が雲底高度に相当）

47646 Tateno Observations at 00Z 07 Sep 2023

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1008.0	31	26.2	21.8	77	16.61	320	2	298.7	347.2	301.6
1007.0	39	26.1	21.7	77	16.49	0	0	298.6	346.8	301.6
1000.0	96	25.2	20.7	76	15.63	340	6	298.4	344.0	301.1
998.0	114	25.1	20.6	76	15.51	330	4	298.4	343.7	301.2
962.0	438	22.8	17.8	73	13.51	33	8	299.2	338.9	301.7
961.0	447	22.8	17.7	73	13.43	35	8	299.3	338.7	301.7
938.0	660	22.5	15.2	63	11.69	25	16	301.1	335.8	303.2
931.0	725	22.4	14.4	61	11.20	28	16	301.6	334.9	303.7
925.0	782	22.0	14.0	60	10.98	30	16	301.8	334.5	303.8
850.0	1510	16.4	9.4	63	8.78	50	12	303.9	329.8	304.9
833.0	1682	15.3	9.3	67	8.90	50	12	303.9	330.8	305.6
816.0	1857	14.2	9.2	72	9.03	40	10	304.5	331.9	306.2
781.0	2226	13.1	7.2	67	8.19	20	6	307.2	332.4	308.7
771.0	2335	12.8	6.5	66	7.96	340	4	308.0	332.6	309.5
755.0	2511	12.3	5.6	63	7.59	40	6	309.3	332.9	310.7
746.0	2612	12.0	5.0	62	7.38	22	6	310.1	333.1	311.4
718.0	2932	10.0	5.6	74	8.00	324	7	311.3	336.2	312.8
700.0	3143	8.6	4.9	78	7.82	285	8	312.0	336.5	313.4
698.0	3167	8.5	4.8	77	7.76	285	8	312.1	336.5	313.6
688.0	3285	8.0	4.0	76	7.46	285	6	312.9	336.4	314.3
680.0	3382	7.6	3.4	74	7.22	335	6	313.5	336.3	314.9
655.0	3690	6.4	1.4	70	6.51	323	6	315.5	336.3	316.7
627.0	4046	4.6	-3.3	56	4.81	310	6	317.4	333.1	318.4
613.0	4230	3.7	-5.7	50	4.09	320	6	318.4	332.0	319.2

5. これらによって得られた雲底温度、地上気温、雲底高度を用いて、気温減率を算出する（この日の事例では、 $0.55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ）

* 同測定を共同研究者・協力者により、京都市とつくば市でも実施した。

4. 研究の成果

測定は2022年10月から2023年9月まで実施した。その結果、宇都宮とつくば（以下、関東）で合計65回、京都で25回の観測を実施できた。

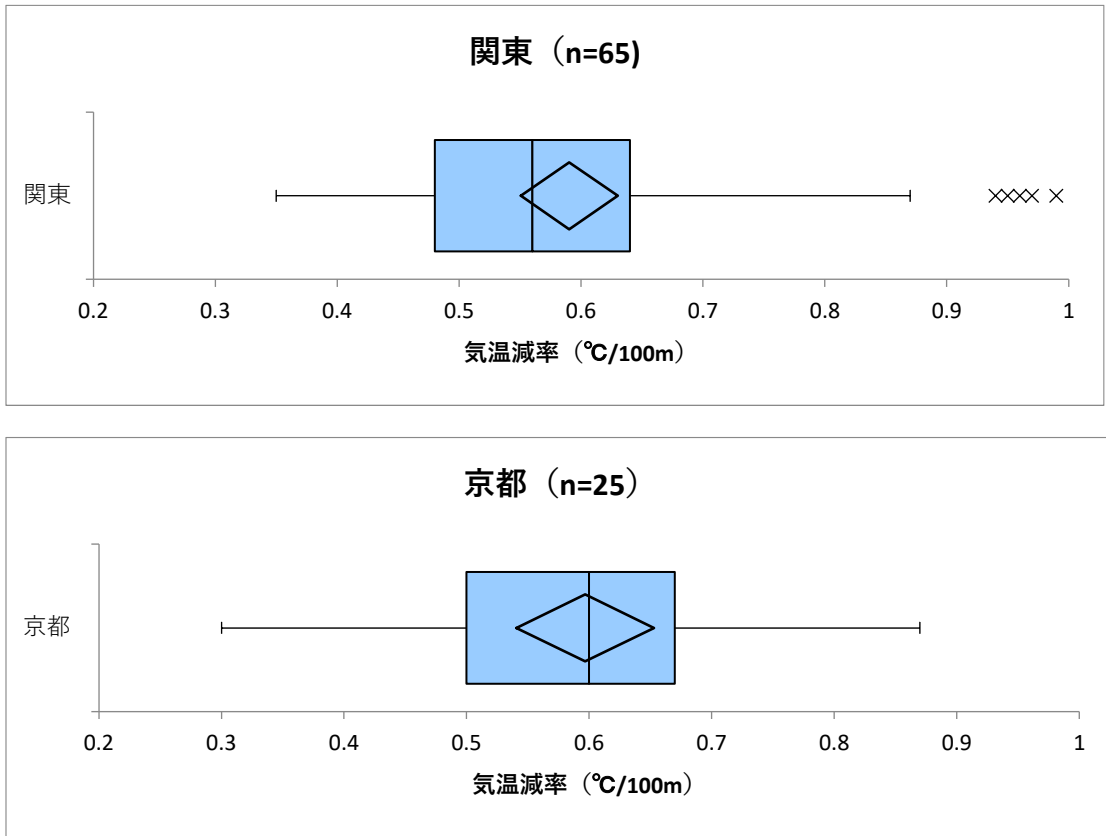
以下に、関東と京都の気温減率の基礎統計量と箱ひげ図を示す。

関東と京都で観測回数に2.6倍の違いが出たが、気温減率の平均としては、 0.59 、 $0.60^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であり、ほぼ同程度であった。最小値も両地点でほぼ同程度の 0.3 - $0.35^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、最大値はやや差があったが 0.87 、 $0.99^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であった。

一般的に用いられている気温減率は、国際標準大気による地球全体を平均した理想的な値である。また、気温は地表面からの放射等の影響を強く受けることから、一般的には気温減率は自由大気中を想定している。しかし、その一方で、地理の教科書（二宮書店、地理B）には地表面の影響を考慮した値として $0.55^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ が記載されており、その根拠として、吉野（1986）を挙げている。そして、二宮書店のHPでは、この両者の違いについて、「理論値」と「実測値」の違いであると解説している。本研究で得られた気温減率の平均値は「理論値」と実測値の概ね中間の値であったといえる。しかし、このような実際の測定を通して、必ずしも日々の気温減率は $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ではなく、 0.3 ~ $1.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ の間で変動していることや、平均値としても必ずしも $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ にはならないことを体感的に理解できる。そのため、本研究で開発した気温減率の測定方法は、特に地学基礎や地理において気温減率について学習する高等学校で実施する探究教材として有用であると考えられる。

表：関東と京都における気温減率の測定結果の基礎統計量

2022/10-2023/09		
変数	関東	京都
n	65	25
平均	0.59	0.60
標準偏差	0.16	0.14
最小値	0.35	0.3
最大値	0.99	0.87



図：関東と京都における気温減率の測定結果の箱ひげ図

5. 今後の課題

本研究では、高等学校の学習場面を想定した「気温減率の測定方法」を開発し、実際に測定を行った結果、 $0.60^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 程度の平均値を得ることができた。この値は、実測値としては妥当であると判断でき、実際の授業で実施可能な有用性を検証することもできた。

高等学校地学基礎あるいは、現行の地理の教科書においては、気温減率（気温逓減率）の値はいずれも $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ が記載されている。しかし、その値がどのようにして得られたかについての詳細は記載がないため、生徒や指導者が日々変動しない安定な値であると誤認してしまう可能性もある。本研究で開発した方法を実施することによって高等学校の生徒が実感を持って気温減率について理解できる一助になると考えられる。

本研究では、開発した方法を用いた学校現場での実践には至らなかったため、今後は実際の高校生を対象とした実践を行うとともに、実測値の信頼性を高めるために高層気象データを用いて日本全域の平均的な気温減率のデータベースを作成したい。

6. 成果の発表について

本研究に係る成果については、今後、実践を行い、その成果を学術論文として日本理科教育学会の「理科教育

学研究」や日本地学教育学会の「地学教育」に投稿したい。

7. 引用文献

川村教一（2009）：赤外放射温度計を用いた雲の輝度温度測定の教材開発について，地学教育，62，127-137.

加藤靖葉・森本真紀（2021）：放射温度計観測による空の温度と雲底高度の関係，岐阜大学教育学部研究報告(自然科学)，45，41-47.

吉野正敏（1986）：小気候，地人書館，298p.

URL

ワイオミング大学 HP：<https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

気象庁 HP：<https://www.jma.go.jp/>

以上